

## 经导管主动脉瓣置换术后冠状动脉阻塞的研究进展

胡正 陈祥洲 陈静

(武汉大学人民医院心血管内科, 湖北 武汉 430000)

**【摘要】** 冠状动脉阻塞是经导管主动脉瓣置换术后一种罕见且预后极差的并发症, 提高对这类并发症的早期识别、积极预防和及时治疗对减少该并发症的不良后果具有重要意义。现在综合现有文献研究的基础上, 总结经导管主动脉瓣置换术后冠状动脉阻塞发生原因、发生率、危险因素、预防、治疗措施和预后的相关研究进展。

**【关键词】** 经导管主动脉瓣置换术; 冠状动脉阻塞; 并发症

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.05.005

## Coronary Occlusion of Transcatheter Aortic Valve Replacement

HU Zheng, CHEN Xiangzhou, CHEN Jing

(Department of Cardiology, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430000, Hubei, China)

**【Abstract】** Coronary occlusion is a rare complication of transcatheter aortic valve replacement with poor prognosis. It is of great significance to improve the early identification, prevention and treatment of such complications to reduce the adverse consequences. This article reviews the cause, incidence, risk factors, prevention, treatment, and prognosis of coronary occlusion of transcatheter aortic valve replacement based on the existing study.

**【Key words】** Transcatheter aortic valve replacement; Coronary occlusion; Complication

近年来, 经导管主动脉瓣置换术 (transcatheter aortic valve replacement, TAVR) 在中国快速发展, 已成为有中高危外科换瓣风险的中重度主动脉瓣狭窄患者的替代治疗方案<sup>[1-2]</sup>。TAVR 相较于外科手术换瓣有着创伤小、风险低、恢复时间短等优势, 但其同样存在着术后瓣周漏、传导阻滞、脑卒中、冠状动脉阻塞、急性肾损伤等并发症<sup>[3]</sup>, 其中冠状动脉阻塞是一种罕见但具有极高死亡率的并发症。因此, 预测、预防和治疗 TAVR 相关的冠状动脉阻塞对改善患者预后具有重要意义。

### 1 TAVR 术后冠状动脉阻塞发生率和发生时机

冠状动脉阻塞被定义为: TAVR 术中或术后, 血管造影或超声心动图证实由瓣膜假体本身、天然小叶、钙化或夹层所导致的新的、部分或完全的冠状动脉开口梗阻<sup>[4]</sup>。相较于其他 TAVR 并发症, 冠状动脉阻塞总体发生率较低, 为 0.66% ~ 1.00%<sup>[5-7]</sup>, 瓣中瓣手术的冠状动脉阻塞发生率比常规 TAVR 高出 3 ~ 4 倍, 约为 3.50%<sup>[8]</sup>。大多数冠状动脉阻塞发生在瓣膜植入后即刻, 且发生在左冠状动脉<sup>[7,9]</sup>, 约 0.22% 的患者会发生延迟性冠状动脉阻塞<sup>[9]</sup>。延迟性冠状动脉阻塞

可分为早期 ( $\leq 7$  d) 和晚期 ( $> 7$  d)。早期延迟性冠状动脉阻塞与急性冠状动脉阻塞发生机制类似, 而晚期延迟性冠状动脉阻塞可能由于瓣膜血栓或者瓣膜的纤维化和内皮化所致。

### 2 TAVR 术后冠状动脉阻塞的危险因素

#### 2.1 冠状动脉开口高度和瓦氏窦直径

冠状动脉阻塞通常是由瓣叶遮挡冠状动脉开口导致, 过低的冠状动脉开口高度往往是其中一个值得考虑的因素。左冠状动脉开口高度通常低于右冠状动脉, 这可能是冠状动脉阻塞大多数发生在左冠状动脉的原因。Ribeiro 等<sup>[7]</sup>的研究显示 86% 的冠状动脉阻塞患者左冠状动脉开口高度  $< 12$  mm, 而对照组 (无冠状动脉阻塞) 为 33% ( $P < 0.001$ )。冠状动脉阻塞的安全开口高度并没有一个绝对的临界值, 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS 和 SCCT 专家共识中提到冠状动脉开口高度  $< 10$  mm, 阻塞发生的风险较高<sup>[10-11]</sup>。不同的相关器械制造商的建议也不尽相同, 美国美敦力公司建议 CoreValve 植入的安全冠状动脉开口高度  $\geq 14$  mm。在植入瓣膜时, 会将原生瓣叶推入瓦氏窦中, 过小的瓦氏窦不足以容纳瓣叶而可能造成冠状动脉

阻塞。同样的, Ribeiro 等<sup>[7]</sup>的研究中,与对照组相比,71.4%的冠状动脉阻塞患者瓦氏窦直径 < 30 mm ( $P < 0.001$ ),若同时存在左冠状动脉开口高度 < 12 mm 和瓦氏窦直径 < 30 mm,有 13.3% 患者未出现冠状动脉阻塞<sup>[7]</sup>。因此冠状动脉开口高度以及瓦氏窦的直径是发生冠状动脉阻塞不可忽视的因素。

## 2.2 女性

在既往的一些研究<sup>[7,12]</sup>中,女性患者发生冠状动脉阻塞风险的概率更高,超过 80%。女性与冠状动脉阻塞发生的潜在关联可能归因于女性自身较小的解剖结构。Ribeiro 等<sup>[7]</sup>的研究中证实了男女性别之间瓦氏窦直径 [(33.8 ± 3.9) mm vs (29.7 ± 3.1) mm,  $P < 0.001$ ] 和左冠状动脉开口高度 [(14.1 ± 2.1) mm vs (12.7 ± 1.8) mm,  $P < 0.001$ ] 存在明显差异。其他的一些研究<sup>[9,13]</sup>也同样证实了这一观点。

## 2.3 瓣膜类型

TAVR 最常用的瓣膜分为自膨胀瓣膜和球囊扩张型瓣膜两种类型,前者以美敦力公司的 CoreValve 和 Evolut 系列为代表,后者则以爱德华公司的 SAPIEN 系列为代表。关于瓣膜类型是否影响 TAVR 发生冠状动脉阻塞有着不同的看法。一项大型的 meta 分析<sup>[6]</sup>指出,CoreValve 与 SAPIEN 系列在冠状动脉阻塞这一并发症中并无显著差异。而在另外一项研究中,SAPIEN/SAPIEN XT 的急性冠状动脉阻塞发生率几乎是 CoreValve 瓣膜的两倍以上 (0.81% vs 0.33%,  $P = 0.023$ )<sup>[7]</sup>,这可能与两种瓣膜类型设计的差异性有关。相比于急性冠状动脉阻塞,延迟性冠状动脉阻塞更常见于自膨胀瓣膜中 (0.36% vs 0.11%,  $P < 0.01$ )<sup>[9]</sup>,其原因可能与自膨胀瓣膜通常使用的镍钛合金和释放后的持续扩张有关。

## 2.4 瓣中瓣手术

瓣中瓣手术已成为外科生物瓣衰败患者的一种治疗方法<sup>[14-15]</sup>,同时,也可用于 TAVR 失败的情况<sup>[16]</sup>。瓣中瓣手术相比于常规 TAVR,冠状动脉阻塞的概率高出 3~4 倍,约 3.5%<sup>[8]</sup>。外科手术换瓣患者通常在瓣环上进行缝合,这意味着更低的冠状动脉开口高度,且外科瓣瓣叶更长<sup>[17]</sup>,在经导管主动脉扩张期间,先前植入的外科瓣瓣叶更容易遮挡冠状动脉开口。相关研究<sup>[18]</sup>提出了一种通过模拟拟植入瓣膜与冠状动脉开口的距离预测冠状动脉阻塞的方法来评估冠状动脉风险,首先确认原外科瓣平面和几何中心,再将拟植入的瓣膜换算成等尺寸的虚拟圆柱体并置于原外科瓣的平面和几何中心中,然后测量该圆柱体到冠状动脉开口的距离,并记为瓣膜到冠状动脉开口的虚拟距离 (virtual transcatheter heart valve to coronary ostial distance, VTC)。VTC 已被证实为冠状动脉阻塞

的独立预测因子,且该值越小,冠状动脉阻塞的风险越高,当 VTC < 4 mm 时,冠状动脉阻塞风险极高<sup>[18]</sup>。

## 2.5 其他

与 TAVR 并发冠状动脉阻塞相关的危险因素还包括:原始瓣叶的钙化团块、瓣叶过长、瓣膜位置过高、瓣膜断裂后的框架外移、主动脉壁内或壁外血肿引起的外源性压迫、瓦氏窦面积的时相变化(收缩期和舒张期)等<sup>[7,19-20]</sup>。

## 3 冠状动脉阻塞的评估

影像学检查是 TAVR 术前患者评估和筛选的重要工具,相较于超声心动图,多层螺旋 CT 在早期识别并筛选可能出现术后冠状动脉阻塞患者方面有着更高的价值。多层螺旋 CT 可通过三维重建图像测量冠状动脉开口的高度、瓦氏窦的大小、瓣叶长度、瓣叶钙化程度等重要参数<sup>[21]</sup>。对于合并有上述危险因素患者,应更加留意术后发生冠状动脉阻塞的可能性和制定严密的预防措施。

术中球囊预扩张时,可通过冠状动脉显影的情况来帮助判断冠状动脉堵塞的风险。在球囊预扩张时,原始瓣叶会发生迁移,若发现冠状动脉缺乏显影,往往提示 TAVR 术后高冠状动脉阻塞风险。

部分研究展现了一些进一步评估冠状动脉阻塞风险的方法。在冠状动脉开口平面时,测量平面中心与冠状动脉开口的距离,在瓣环平面时,测量平面中心与瓣环的距离和瓣叶厚度,中心与冠状动脉开口距离 - (中心距瓣环距离 + 瓣叶厚度) 得出瓣叶到冠状动脉开口的预估距离,若瓣叶到冠状动脉开口的预估距离 < 2 mm,则冠状动脉阻塞发生的风险较大<sup>[22]</sup>。还有一种利用三维打印模型预测冠状动脉阻塞风险的方法,通过三维建模模拟瓣叶与相应的冠状动脉开口的最近距离 (distance from leaflet to coronary, DLC),然后根据相应的冠状动脉直径 (d) 对 DLC 进行标准化,并获得 DLC/d,其表示瓣膜释放后主动脉瓣叶尖与冠状动脉开口之间的距离分数。在冠状动脉开口高度 < 14 mm 和/或瓦氏窦直径 < 30 mm 的患者中,若 DLC/d > 0.7,其冠状动脉阻塞风险并不高;而 DLC/d < 0.5 的患者有着严重的冠状动脉阻塞风险;对于 DLC/d 在 0.5~0.7 的患者,需要进一步研究<sup>[23]</sup>。

## 4 冠状动脉阻塞高危患者的预防措施

TAVR 并发冠状动脉阻塞的常规预防方式有:(1) 单纯的预植入冠状动脉保护导丝;(2) 常规的冠状动脉开口支架植入(突出主动脉最少);(3) “烟囱”支架植入术(突出主动脉较多)<sup>[24]</sup>。“烟囱”支架植入术最初用于血管内动脉瘤的修复手术中,其目的是为了避开肠系膜或肾血管被支架覆盖<sup>[25]</sup>,现通过改进,已成为一种预防 TAVR 术中发生冠状动脉阻塞的方法。将

冠状动脉支架远端放置于冠状动脉内,近端放置在主动脉血管壁与 TAVR 瓣膜之间,使得整个支架形似烟囱,以此避免人工瓣膜或者自身瓣叶遮挡冠状动脉开口,保证冠状动脉的血供。Mercanti 等<sup>[26]</sup>的研究报道了远期的随访结果,该研究纳入 60 例接受了“烟囱”支架植入的患者,其中 3 例患者发生了院内死亡,1 年内的全因死亡率为 8.3%,中位随访期为 612 d(405 ~ 842 d),整个随访期间的全因死亡率为 16.7%,支架内再狭窄或血栓形成率为 5.3%。由于额外的支架植入,对于该类患者,TAVR 术后的最佳抗血小板聚集或抗凝策略尚不清楚。

以上 3 种介入预防方式中,预先的支架植入似乎是更好的选择。Palmerini 等<sup>[27]</sup>报告了 236 例接受 TAVR 的冠状动脉阻塞高危患者中预植入冠状动脉保护导丝和支架的安全性和有效性,其中单纯预植入冠状动脉导丝组具有相当高的延迟性冠状动脉阻塞风险(4.3%),且相比于预植入支架组有着高出两倍的心源性死亡率(15.7% vs 7.8%, $P=0.05$ )。穿过冠状动脉的导丝在瓣膜植入期间允许冠状动脉血流的通过,这种保护作用会在移除导丝时消失。

另外一项预防方式为 BASILICA 技术,通过切割瓣叶以预防患者原生物瓣叶在 TAVR 术中覆盖冠状动脉开口导致冠状动脉阻塞,近年来受到了诸多国内外专家的密切关注。其原理为导丝与导管穿过并撕裂可能阻挡冠状动脉开口的主动脉瓣小叶,以保持 TAVR 术后的冠状动脉灌注<sup>[28]</sup>。Kitamura 等<sup>[29]</sup>的研究证实了该技术短期的有效性和安全性,在 21 例接受了 BASILICA 技术的患者中,成功率为 95%,除 2 例患者(10%)出现了冠状动脉阻塞,无其他符合瓣膜学术研究联盟(Valve Academic Research Consortium, VARC)-2 定义的 30 d 内安全终点事件发生。另外一项为期 1 年的临床随访研究显示,在纳入的 30 例高危冠状动脉阻塞风险的患者中,30 d 成功率为 93%,卒中率为 10%,死亡 1 例。在 30 d ~ 1 年的随访期内,无新的卒中发生,2 例患者死亡(10%的 1 年死亡率)<sup>[30]</sup>。尽管如此,仍需远期的临床结果来证实其安全性。

目前缺乏“烟囱”支架植入术与 BASILICA 技术的优劣性的对比研究,国外各中心对方法的选择通常基于中心的专业技术。虽然 BASILICA 无需植入导丝或支架,并且日后经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)时可能更容易进入冠状动脉,但该技术需要专业的切割瓣叶设备以及技术,而“烟囱”支架植入术对专业心脏介入专家而言是普遍适用的。无论哪种方式,预防性的保护是至关重要的,缺乏 TAVR 术前冠状动脉保护是这类高危冠状动脉阻塞风险患者死亡、心源性休克或心肌梗死复合终

点的独立危险因素<sup>[26]</sup>。

另一种自膨胀瓣膜为中国杰成公司的 J-Valve,与其他瓣膜将原瓣叶推向瓦氏窦不同,该瓣膜通过其结构上的 3 个 U 型“卡扣”将原瓣叶收纳至 J-Valve 中,从而有可能降低冠状动脉阻塞的风险。由于该系统受心尖入路的限制,目前尚缺乏该瓣膜的大型研究,仅有一些小样本研究或病例报告中提出了该瓣膜在预防冠状动脉阻塞的应用前景<sup>[31-32]</sup>。

## 5 冠状动脉阻塞的治疗与预后

TAVR 术中冠状动脉阻塞常发生在左冠状动脉,发生冠状动脉阻塞后,产生以持续性严重低血压、室性心律失常、心电图 ST 段改变为主的左心室缺血表现<sup>[7]</sup>,一旦患者出现了术后持续性低血压情况,都应将冠状动脉阻塞纳入鉴别诊断,并及时进行超声心动图检查,判断是否有新的节段性室壁运动异常或进行冠状动脉造影检查证实冠状动脉阻塞的发生。由于血流动力学衰竭的高风险,若未能快速地成功恢复血流灌注,死亡率为 100%<sup>[7]</sup>。

因瓣膜部署位置过高或移位导致覆膜区遮挡冠状动脉开口,将原瓣膜牵拉至升主动脉或腹主动脉,并在原位置重新植入新的瓣膜已被证明是一种有效的方法<sup>[33]</sup>。对于原始瓣叶遮挡冠状动脉开口引起的急性冠状动脉闭塞,PCI 是治疗 TAVR 术后冠状动脉阻塞的首选方案,在两项研究<sup>[7,12]</sup>中,有 75.0% 和 95.8% 的冠状动脉阻塞患者接受了 PCI,且成功率分别为 81.8% 和 91.3%。由于遮挡冠状动脉开口部钙化的原始瓣叶以及瓣膜框架的伸展性较差,应选择径向力较高的支架<sup>[34]</sup>。对于 PCI 开通血管失败的患者,应及时转外科手术。此外,在快速恢复血流灌注的同时,有 25% ~ 36% 的患者需紧急的机械血流动力学辅助装置,例如主动脉内球囊反搏、体外膜肺氧合、Impella 等<sup>[7,12,35]</sup>,因此心脏介入团队需提前准备机械血流动力学辅助装置。

即便开通血管概率较高,但成功接受 PCI 或冠状动脉搭桥术的冠状动脉阻塞患者的预后仍不容乐观,在 Ribeiro 等<sup>[7]</sup>的研究中,接受 PCI 或冠状动脉搭桥术的患者 30 d 的死亡率分别为 22.2% 和 50.0%。在 Arai 等<sup>[5]</sup>的研究中,3 例(37.5%)行紧急冠状动脉搭桥术的冠状动脉阻塞患者均在 30 d 内死亡。由此可见,冠状动脉阻塞一旦发生,预后极差。

## 6 总结

尽管冠状动脉阻塞发生率较低,但在中国 TAVR 迅速发展的趋势下,这一并发症仍然不能小觑。发生原因与冠状动脉开口高度、瓦氏窦直径、性别、瓣膜类型等有关,应早期识别这类高危患者并进行严格的术前评估来平衡 TAVR 的利弊。对拟行 TAVR 的高危冠

状动脉阻塞患者,需提前做好冠状动脉保护措施以及后续的开通血管准备。一旦发生冠状动脉阻塞,其预后极差,因此,冠状动脉阻塞的术前预防大于治疗。通过术前的仔细评估以及新一代瓣膜的改进,可进一步减少这种危及生命的并发症的发生。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease[J]. *Eur Heart J*, 2021, 60(4):727-800.
- [2] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease; executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association joint committee on clinical practice guidelines [J]. *Circulation*, 2021, 143(5):e35-e71.
- [3] Génèreux P, Head SJ, van Mieghem NM, et al. Clinical outcomes after transcatheter aortic valve replacement using valve academic research consortium definitions; a weighted meta-analysis of 3,519 patients from 16 studies[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(25):2317-2326.
- [4] Kappetein AP, Head SJ, Génèreux P, et al. Updated standardized endpoint definitions for transcatheter aortic valve implantation; the Valve Academic Research Consortium-2 consensus document (VARC-2) [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 42(5):S45-S60.
- [5] Arai T, Lefèvre T, Hovasse T, et al. Incidence and predictors of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation in the real world [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017, 90(7):1192-1197.
- [6] Khatri PJ, Webb JG, Rodés-Cabau J, et al. Adverse effects associated with transcatheter aortic valve implantation; a meta-analysis of contemporary studies [J]. *Ann Intern Med*, 2013, 158(1):35-46.
- [7] Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR, et al. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation; insights from a large multicenter registry [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(17):1552-1562.
- [8] Dvir D, Webb J, Brecker S, et al. Transcatheter aortic valve replacement for degenerative bioprosthetic surgical valves; results from the global valve-in-valve registry [J]. *Circulation*, 2012, 126(19):2335-2344.
- [9] Jabbour RJ, Tanaka A, Finkelstein A, et al. Delayed coronary obstruction after transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(14):1513-1524.
- [10] Holmes DR Jr, Mack MJ, Kaul S, et al. 2012 ACCF/AATS/SCAI/STS expert consensus document on transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(13):1200-1254.
- [11] Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, et al. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2012, 6(6):366-380.
- [12] Ribeiro HB, Nombela-Franco L, Urena M, et al. Coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation; a systematic review [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6(5):452-461.
- [13] Buellesfeld L, Stortecky S, Kalesan B, et al. Aortic root dimensions among patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6(1):72-83.
- [14] Webb JG, Wood DA, Ye J, et al. Transcatheter valve-in-valve implantation for failed bioprosthetic heart valves [J]. *Circulation*, 2010, 121(16):1848-1857.
- [15] Webb JG, Dvir D. Transcatheter aortic valve replacement for bioprosthetic aortic valve failure: the valve-in-valve procedure [J]. *Circulation*, 2013, 127(25):2542-2550.
- [16] Barbanti M, Webb JG, Tamburino C, et al. Outcomes of redo transcatheter aortic valve replacement for the treatment of postprocedural and late occurrence of paravalvular regurgitation and transcatheter valve failure [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9(9):e003930.
- [17] Ribeiro HB, Nombela-Franco L, Allende R, et al. Coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation for degenerative bioprosthetic surgical valves; a systematic literature review [J]. *Rev Bras Cardiol Invasiva*, 2013, 21(4):311-318.
- [18] Bernardi FLM, Dvir D, Rodes-Cabau J, et al. Valve-in-valve challenges: how to avoid coronary obstruction [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2019, 6:120.
- [19] Lederman RJ, Babaliaros VC, Rogers T, et al. Preventing coronary obstruction during transcatheter aortic valve replacement; from computed tomography to BASILICA [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(13):1197-1216.
- [20] Fassa AA, Himbert D, Vahanian A. Mechanisms and management of TAVR-related complications [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2013, 10(12):685-695.
- [21] Zamorano JL, Goncalves A, Lang R. Imaging to select and guide transcatheter aortic valve implantation [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(24):1578-1587.
- [22] Oh JH, Kobayashi Y, Kang G, et al. Distance between valvular leaflet and coronary ostium predicting risk of coronary obstruction during TAVR [J]. *Int J Cardiol Heart Vasc*, 2021, 37:100917.
- [23] Heitkemper M, Hatoum H, Azimian A, et al. Modeling risk of coronary obstruction during transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(3):829-838. e3.
- [24] Carot P. TAVR-related coronary obstruction: preventive wires or stenting? [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(6):748-750.
- [25] Banno H, Cochenec F, Marzelle J, et al. Comparison of fenestrated endovascular aneurysm repair and chimney graft techniques for pararenal aortic aneurysm [J]. *J Vasc Surg*, 2014, 60(1):31-39.
- [26] Mercanti F, Rosseel L, Neylon A, et al. Chimney stenting for coronary occlusion during TAVR; insights from the chimney registry [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(6):751-761.
- [27] Palmerini T, Chakravarty T, Saia F, et al. Coronary protection to prevent coronary obstruction during TAVR; a multicenter international registry [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(6):739-747.
- [28] Khan JM, Dvir D, Greenbaum AB, et al. Transcatheter laceration of aortic leaflets to prevent coronary obstruction during transcatheter aortic valve replacement; concept to first-in-human [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11(7):677-689.
- [29] Kitamura M, Majunke N, Holzhey D, et al. Systematic use of intentional leaflet laceration to prevent TAVI-induced coronary obstruction; feasibility and early clinical outcomes of the BASILICA technique [J]. *EuroIntervention*, 2020, 16(8):682-690.
- [30] Khan JM, Greenbaum AB, Babaliaros VC, et al. BASILICA trial: one-year outcomes of transcatheter electrosurgical leaflet laceration to prevent TAVR coronary obstruction [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2021, 14(5):e010238.
- [31] Ye J, Lee AJ, Blanke P, et al. The first transapical transcatheter aortic valve-in-valve implantation using the J-valve system into a failed biophysio aortic prosthesis in a patient with high risk of coronary obstruction [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018, 92(6):1209-1214.
- [32] Shi J, Wei L, Chen Y, et al. Transcatheter aortic valve implantation with J-Valve; 2-year outcomes from a multicenter study [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111(5):1530-1536.
- [33] Geisbusch S, Bleiziffer S, Mazzitelli D, et al. Incidence and management of CoreValve dislocation during transcatheter aortic valve implantation [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2010, 3(6):531-536.
- [34] Fiorina C, Curello S, Maffeo D, et al. Management of acute left main obstruction after transcatheter aortic valve replacement: the "tunnel technique" [J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2012, 13(2):142. e5-142. e9.
- [35] Singh V, Yarkoni A, O'Neill WW. Emergent use of Impella CP™ during transcatheter aortic valve replacement; transaortic access [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 86(1):160-163.

收稿日期:2022-08-30